

Атомная энергетика

АЭС

- Источником облучения, вокруг которого ведутся наиболее интенсивные споры, являются атомные электростанции, хотя в настоящее время они вносят весьма незначительный вклад в суммарное облучение населения. При нормальной работе ядерных установок выбросы радиоактивных материалов в окружающую среду очень невелики.

- **Атомная электростанция (АЭС)** - единый производственно-технологический комплекс, который предназначен для производства энергии, на котором для осуществления этой цели используются ядерные установки и объекты, предназначенные для обращения с радиоактивными отходами, с комплексом необходимых систем, устройств, оборудования и сооружений.

- Первая в мире промышленная атомная электростанция мощностью 5 МВт была запущена 27 июня 1954 года в СССР, в городе Обнинске, расположенном в Калужской области.

- За пределами СССР первая АЭС промышленного назначения мощностью 46 МВт была введена в эксплуатацию в 1956 году в Колдер-Холле (Великобритания).

- На 2014 год суммарно АЭС мира выработали 2,410 тВт·ч энергии, что составило 10,8 % всемирной генерации электричества.

Мировыми лидерами в производстве ядерной электроэнергии на 2014 год являются

- США (798 млрд кВт·ч/год), работает 104 атомных реактора (20 % от вырабатываемой электроэнергии)
- Франция (418 млрд кВт·ч/год), 58 реакторов.
- Россия (169 млрд кВт·ч/год), 34 реактора.
- Южная Корея (149 млрд кВт·ч/год), 23 реактора.
- Китай (123 млрд кВт·ч/год), 23 реактора.
- Канада (98 млрд кВт·ч/год), 19 реакторов.
- Германия (91 млрд кВт·ч/год), 9 реакторов.
- Украина (83 млрд кВт·ч/год), 15 реакторов.
- Швеция (62 млрд кВт·ч/год), 10 реакторов.
- Великобритания (58 млрд кВт·ч/год), 16 реакторов.

Половина всемирной выработки электроэнергии на АЭС приходится на США и Францию.

- 31 страна использует атомные электростанции. 14 стран строят ядерные реакторы или развивают проекты их строительства. В мире действует 391 энергетических ядерных реакторов общей мощностью 337 ГВт, российская компания «ТВЭЛ» поставляет топливо для 73 из них (17 % мирового рынка). Однако 45 реакторов не производили электричество более полутора лет. Большая часть из них находится в Японии.

- **Атомные электрические станции** - это тепловые станции, использующие энергию ядерных реакций. В качестве ядерного горючего используют обычно изотоп урана U-235, содержание которого в природном уране составляет 0,714%.

- Реакция деления происходит в ядерном реакторе. Ядерное топливо используют обычно в твердом виде. Его заключают в предохранительную оболочку. Такого рода тепловыделяющие элементы называют **ТВЭлами**. Их устанавливают в рабочих каналах активной зоны реактора. Тепловая энергия, выделяющаяся при реакции деления, отводится из активной зоны реактора с помощью теплоносителя, который прокачивают под давлением через каждый рабочий канал или через всю активную зону.

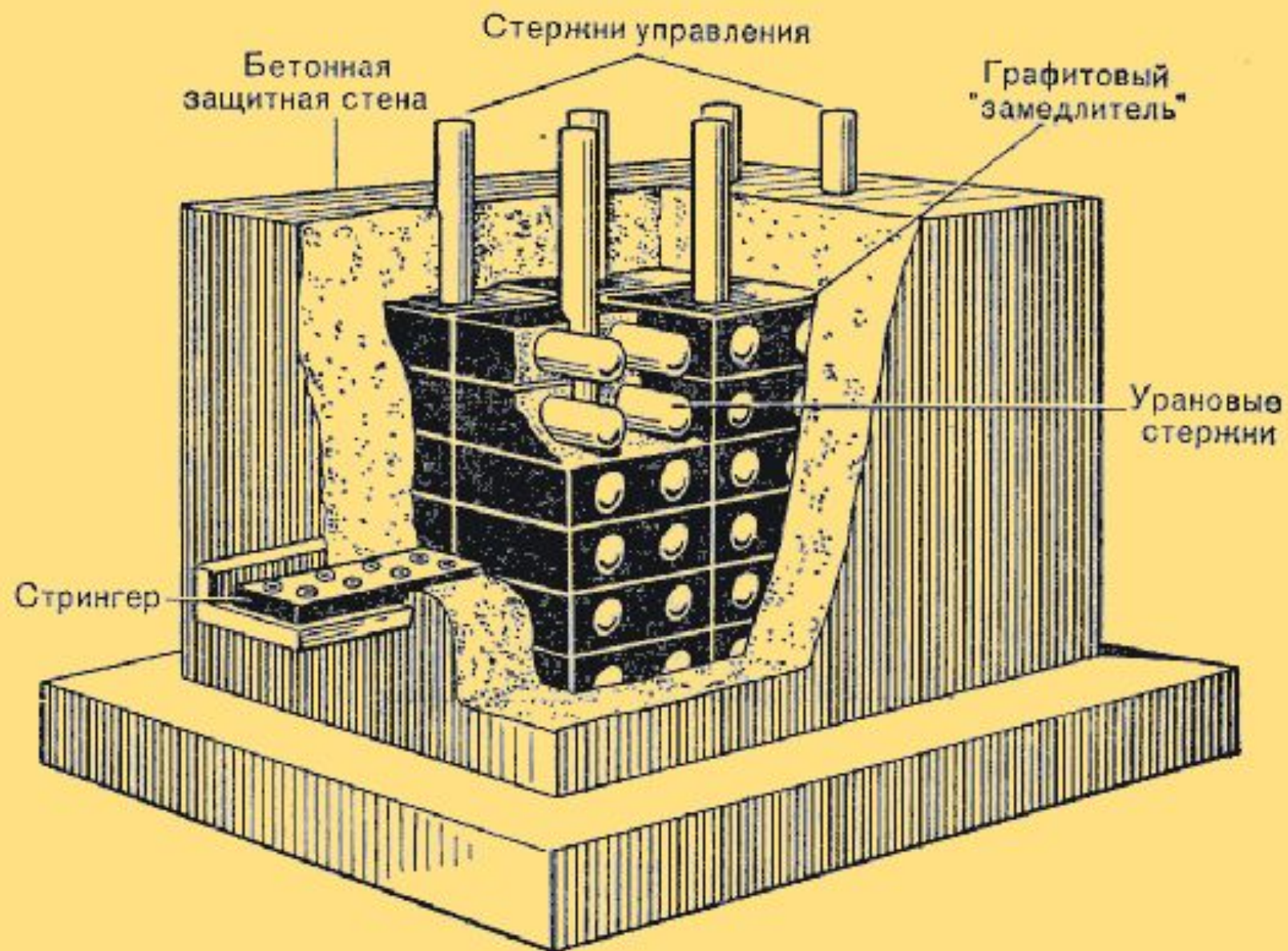
- Ядерная «топка» представляет собой активную зону, объемом, меньшим, чем средний объем жилой комнаты в нашем доме. Ядерное топливо, используемое в современных атомных электростанциях, содержит только несколько процентов ^{235}U .

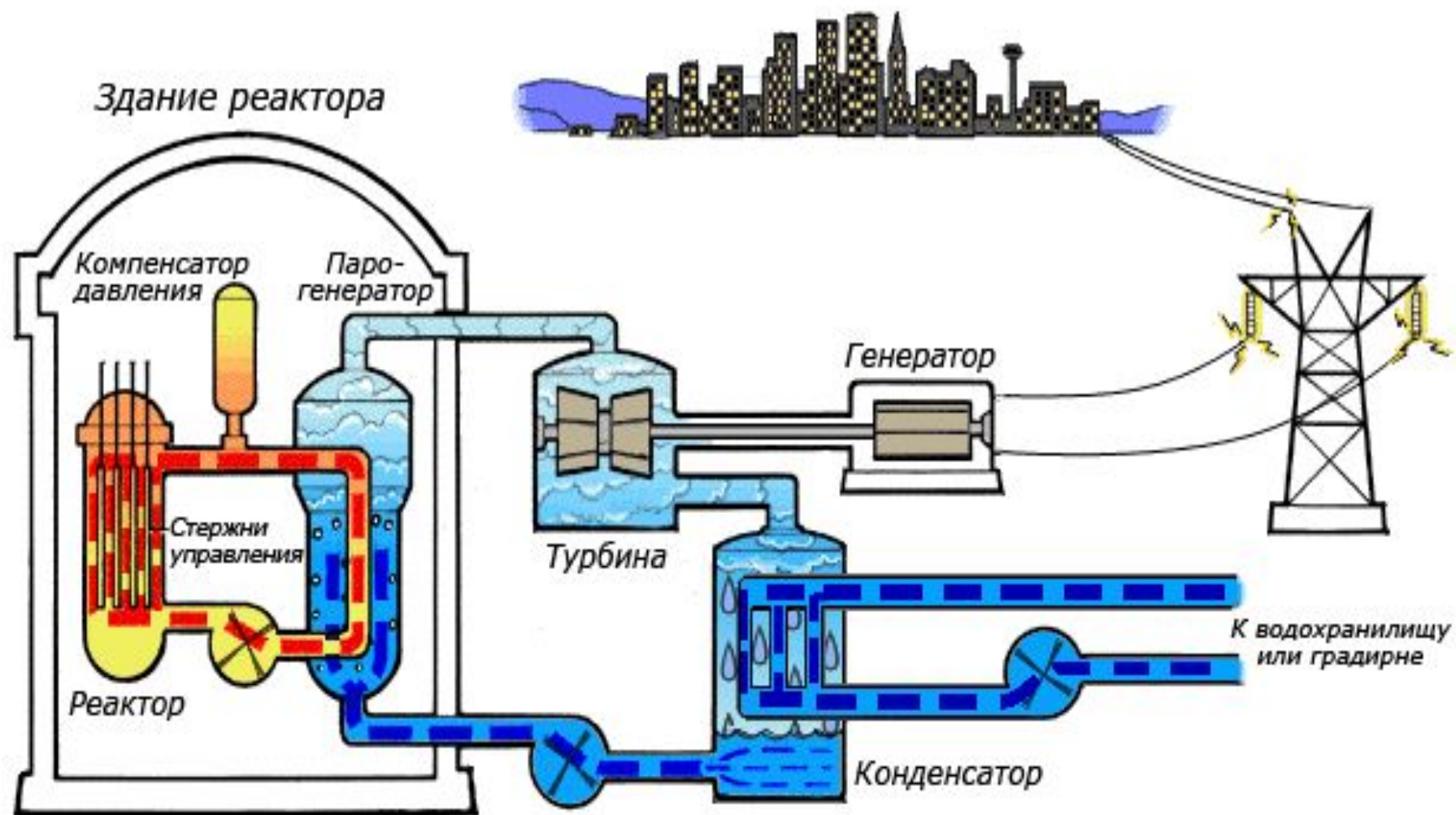
- Для того чтобы начать и поддерживать цепную реакцию на определенном уровне, топливные стержни надо внедрить в определенное вещество, преимущественно состоящее из легких химических элементов, цель которого состоит в торможении или замедлении нейтронов, образующихся в результате деления **U235**, эти нейтроны движутся с большой скоростью.

- Существуют всевозможные вещества, которые применяют в качестве активной зоны или замедлителя реактора: графит (углерод), обычная (легкая) вода, «тяжелая» вода, т. е. вода, в которой водород заменен на дейтерий — более тяжелый изотоп водорода.

Стержни управления

- Процесс в реакторе регулируется путем погружения в активную зону стержней из **бора или кадмия**, которые стремятся поглотить нейтроны. Посредством непрерывной регулировки стержней, вводя и выводя их из активной зоны, работу реактора можно поддерживать на желаемом уровне.





- На рисунке показана схема работы атомной электростанции с двухконтурным водо-водяным энергетическим реактором.
- Энергия, выделяемая в активной зоне реактора, передаётся теплоносителю первого контура. Далее теплоноситель поступает в теплообменник (парогенератор), где нагревает до кипения воду второго контура. Полученный при этом пар поступает в турбины, вращающие электрогенераторы. На выходе из турбин пар поступает в конденсатор, где охлаждается большим количеством воды, поступающим из водохранилища.

- Помимо воды, в различных реакторах в качестве теплоносителя могут применяться также расплавы металлов: натрий, свинец, эвтектический сплав свинца с висмутом и др. Использование жидкометаллических теплоносителей позволяет упростить конструкцию оболочки активной зоны реактора (в отличие от водяного контура, давление в жидкометаллическом контуре не превышает атмосферное).

- В случае невозможности использования большого количества воды для конденсации пара, вместо использования водохранилища вода может охлаждаться в специальных охладительных башнях (градирнях), которые благодаря своим размерам обычно являются самой заметной частью атомной электростанции.

Достоинства

- Главное преимущество — практическая независимость от источников топлива из-за небольшого объёма используемого топлива.
- Расходы на перевозку ядерного топлива, в отличие от традиционного, ничтожны. В России это особенно важно в европейской части, так как доставка угля из Сибири слишком дорога.

- При делении 1 г изотопов урана или плутония высвобождается 22 500 кВт ч, что эквивалентно энергии, содержащейся в 2800 кг условного топлива. Установлено, что мировые энергетические ресурсы ядерного горючего (уран, плутоний и др.) существенно превышают энергоресурсы природных запасов органического топлива (нефть, уголь, природный газ и др.).

- Огромным преимуществом АЭС является её относительная экологическая чистота. На ТЭС суммарные годовые выбросы вредных веществ, в которые входят *сернистый газ*, оксиды азота, оксиды углерода, углеводороды, альдегиды и золовая пыль огромны.

- Подобные выбросы на АЭС полностью отсутствуют.
- ТЭС мощностью 1000 МВт потребляет 8 миллионов тонн кислорода в год для окисления топлива, АЭС же не потребляют кислорода вообще

- Кроме того, большой удельный (на единицу произведенной электроэнергии) выброс радиоактивных веществ даёт угольная станция.
- В угле всегда содержатся природные *радиоактивные вещества*, при сжигании угля они практически полностью попадают во внешнюю среду.
- При этом удельная *активность* выбросов ТЭС в несколько раз выше, чем для АЭС.

- Для большинства стран, в том числе и России, производство электроэнергии на АЭС не дороже, чем на пылеугольных и тем более газомазутных ТЭС. Особенно заметно преимущество АЭС в стоимости производимой электроэнергии во время так называемых энергетических кризисов, начавшихся с начала 70-х годов.
- Падение цен на нефть автоматически снижает конкурентоспособность АЭС.

- Затраты на *строительство АЭС* по оценкам, составленным на основе реализованных в 2000-х годах проектов, на 35 % выше, чем для угольных, на 45 % — газовых ТЭС.

- Главный недостаток АЭС — тяжелые последствия аварий, для исключения которых АЭС оборудуются сложнейшими системами безопасности.

- Серьёзной проблемой для АЭС является ликвидация ядерного топлива после выработки, по оценкам она может составить до 20 % от стоимости их строительства.

4.12. МИРОВАЯ АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Страны, в которых к концу 1984 г. имелись действующие атомные станции

Источник: Отчет Международного агентства по атомной энергии за 1984 г.



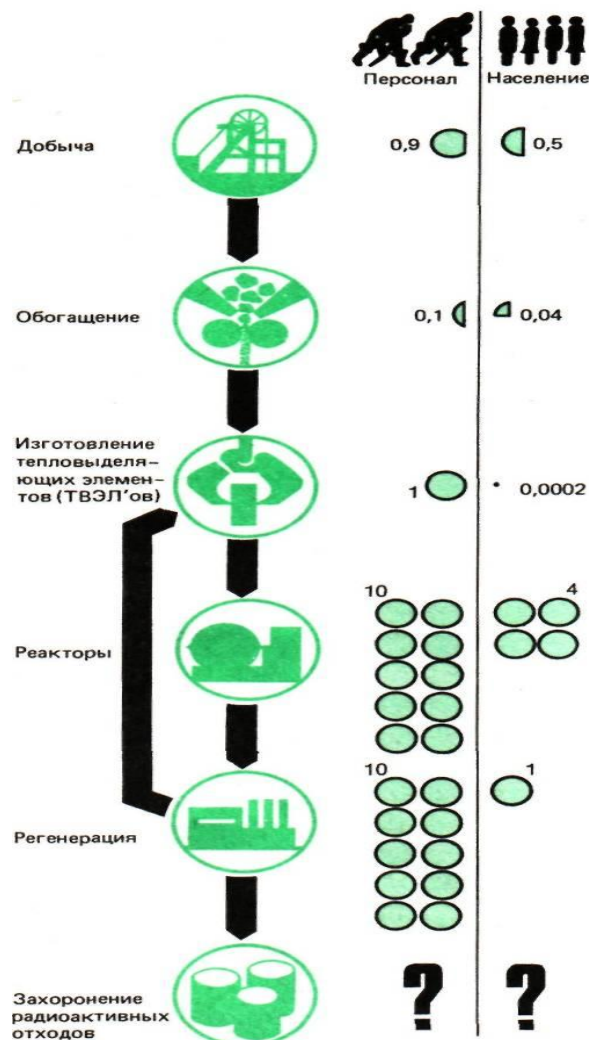
Суммарная мощность, МВт	Страна (число энергоблоков)
68 867	США (85)
32 993	Франция (41)
22 997	СССР (46)
21 751	Япония (31)
16 133	ФРГ (19)
9 564	Великобритания (37)
9 521	Канада (16)
7 355	Швеция (10)
4 690	Испания (7)
3 474	Бельгия (6)
2 882	Швейцария (5)
2 310	Финляндия (4)
1 790	Южная Корея (3)
1 694	ГДР (5)
1 632	Болгария (4)
1 273	Италия (3)
1 194	Чехословакия (3)
1 020	Индия (5)
935	Аргентина (2)
921	ЮАР (1)
820	Венгрия (2)
632	Югославия (1)
626	Бразилия (1)
508	Нидерланды (2)
125	Пакистан (1)

○ = 2000 МВт

- **Атомные электростанции являются лишь частью ядерного топливного цикла,** который начинается с добычи и обогащения урановой руды. Следующий этап- производство ядерного топлива. Отработанное в АЭС ядерное топливо иногда подвергают вторичной обработке, чтобы извлечь из него уран и плутоний. Заканчивается цикл, как правило, захоронением радиоактивных отходов.

Ядерный топливный цикл и дозы, которые получают на разных его этапах обслуживающий персонал и жители прилегающих районов. Приведены типичные ожидаемые коллективные эффективные эквивалентные дозы в чел-Зв на гигаватт-год вырабатываемой электроэнергии

4.14. ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ



Оценки типичной ожидаемой коллективной эффективной эквивалентной дозы на соответствующих этапах (чел – Зв на каждый гигаватт-год вырабатываемой электроэнергии)

- В последнее время наблюдается тенденция к уменьшению количества выбросов из ядерных реакторов, несмотря на увеличение мощности АЭС. Частично это связано с техническими усовершенствованиями, частично-с введением более строгих мер по радиационной защите.

- Весь ядерный топливный цикл дает ожидаемую коллективную эффективную эквивалентную дозу облучения за счет **короткоживущих изотопов** около 5,5 чел-Зв на каждый гигаватт-год вырабатываемой АЭС электроэнергии. Из них процесс добычи руды дает вклад 0,5 чел-Зв, ее обогащение-0,04 чел-Зв, производство ядерного топлива - 0,002 чел-Зв, эксплуатация ядерных реакторов - около 4 чел-Зв (наибольший вклад) и, наконец, процессы, связанные с регенерацией топлива, -1 чел-Зв.

- Ядерный топливный цикл сопровождается также образованием большого количества **долгоживущих радионуклидов**, которые распространяются по всему земному шару. НКДАР оценивает коллективную эффективную ожидаемую эквивалентную дозу облучения такими изотопами в 670 чел-Зв на каждый гигаватт-год вырабатываемой электроэнергии, из которых на первые 500 лет после выброса приходится менее 3%.

- От долгоживущих радионуклидов все население Земли получает примерно такую же среднегодовую дозу облучения, как и население, живущее вблизи АЭС, от короткоживущих радионуклидов, при этом долгоживущие изотопы оказывают свое воздействие в течение гораздо более длительного времени-90% всей дозы население получит за время от тысячи до сотен миллионов лет после выброса.

- Люди, живущие вблизи АЭС, даже при нормальной работе реактора получают всю дозу сполна от короткоживущих изотопов и малую часть дозы от долгоживущих.

- Люди, проживающие вблизи ядерных реакторов, без сомнения, получают гораздо большие дозы, чем население в среднем. Тем не менее в настоящее время эти дозы обычно не превышают нескольких процентов естественного радиационного фона.

- Все приведенные выше цифры, конечно, получены в предположении, что ядерные реакторы работают нормально.

На ядерных реакторах аварии с выбросом радионуклидов в атмосферу происходили трижды:

- Уиндскейл, Англия (10 октября 1957 г.),
- Три-Мойл-Айленд США (28 марта 1979 г.),
- Чернобыль, СССР (26 апреля 1986 г.),
- Авария на АЭС Фукусима-1 (11 марта 2011 года).

.

- Выброс в результате аварии в **Уиндскейле** произошел через вентиляционную трубу высотой 125 м, продолжался в течение суток. Основными радионуклидами в выбросе были ^{137}Cs ($2,2 \cdot 10^{13}$ Бк), ^{131}I ($7,4 \cdot 10^{14}$ Бк), ^{89}Sr ($3 \cdot 10^{12}$ Бк), ^{90}Sr ($7 \cdot 10^{10}$ Бк), ^{106}Ru ($3 \cdot 10^{12}$ Бк), ^{132}Te ($4,4 \cdot 10^{14}$ Бк), ^{133}Xe ($1,2 \cdot 10^{16}$ Бк), ^{239}Pu ($1,6 \cdot 10^9$ Бк). След от выпадений из выброса простирался на расстояние ~ 4 км к юго-востоку. Радиоактивное облако распространилось на юго-восток и достигло **Бельгии, Голландии, Германии, Норвегии.**

- Выброс в результате аварии на АЭС **Три-Мойл-Айленд** произошел из-под защитной оболочки реактора, продолжался около 30 часов и был сравнительно небольшим (в сутки 10^{17} Бк). В составе выбросов были преимущественно РБГ (^{133}Xe , $^{133\text{m}}\text{Xe}$, ^{135}Xe) и небольшое количество ^{131}I ($<1,1$ Бк). От места аварии выброс распространялся преимущественно на север на расстояние около 50 км.

- Выброс в результате аварии на IV блоке ЧАЭС, в отличие от предыдущих, отличался значительной мощностью, продолжительностью и высотой. Выброс происходил из горячей активной зоны, продолжался 10 дней, был высотой до 2,3 км и по суммарной мощности составил $\sim 2 \cdot 10^{18}$ Бк (3,4 % активности, содержащейся в активной зоне к моменту аварии).

- Факел выброса днем 26 апреля повернул на северо-запад и север (на следующий день облако достигло Скандинавии - здесь были самые большие за пределами СССР выпадающие доли $1 \cdot 10^5$ Бк (м^2). В последующие дни выбросы распространялись как через Польшу на Европу, так на востоке и юго-востоке в сторону Турции и Греции. Таким образом, к 30 апреля завершили полный разворот ветра и до середины мая в большей или меньшей мере загрязнение от чернобыльских выпадений распространилось во всем Северном полушарии.

- **Авария на АЭС Фукусима-1** — произошла 11 марта 2011 года в результате сильнейшего в истории Японии землетрясения и последовавшего за ним цунами. Землетрясение и удар цунами вывели из строя внешние средства электроснабжения и резервные дизельные генераторы, что явилось причиной неработоспособности всех систем нормального и аварийного охлаждения и привело к расплавлению активной зоны реакторов на энергоблоках 1, 2 и 3 в первые дни развития аварии.
- В декабре 2013 года АЭС была официально закрыта. На территории станции продолжают работы по ликвидации последствий аварии. По оценке японских инженеров-ядерщиков, приведение объекта в стабильное, безопасное состояние может потребовать до 40 лет.